

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-296183

(P2002-296183A)

(43)公開日 平成14年10月9日(2002.10.9)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 1 N 21/63		G 0 1 N 21/63	Z 2 D 0 5 5
E 2 1 D 11/10		E 2 1 D 11/10	Z 2 G 0 4 3
G 0 1 N 17/00		G 0 1 N 17/00	2 G 0 5 0
21/71		21/71	2 G 0 5 5
33/20		33/20	N
審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 10 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2001-102486(P2001-102486)

(22)出願日 平成13年3月30日(2001.3.30)

(71)出願人 000001373

鹿島建設株式会社

東京都港区元赤坂一丁目2番7号

(72)発明者 三浦 悟

東京都港区元赤坂一丁目2番7号 鹿島建設株式会社内

(72)発明者 露木 健一郎

東京都港区元赤坂一丁目2番7号 鹿島建設株式会社内

(74)代理人 100110711

弁理士 市東 篤 (外1名)

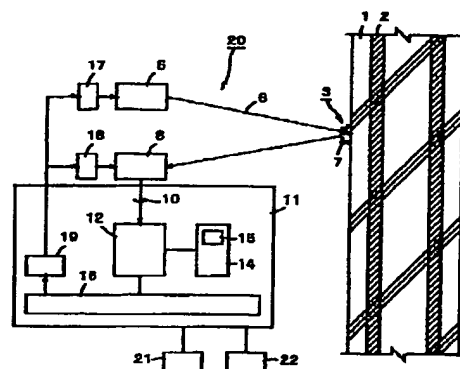
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 コンクリート検査方法及び装置

(57)【要約】

【課題】大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置を提供する。

【解決手段】被検査コンクリート1にレーザ光6を照射してアブレーションによるプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10によりコンクリート1を検査する。例えば、スペクトル強度分布10中の炭素(C)成分の強度に基づきコンクリート1の中性化を検査し、スペクトル強度分布10中のナトリウム(Na)成分及び／又は塩素(Cl)成分の強度に基づきコンクリート1の塩害の影響度合いを検査することができる。鉄筋コンクリートの場合は、スペクトル強度分布10中の鉄(Fe)成分の強度に基づき鉄筋2の腐食を検査できる。好ましくは、スペクトル強度分布10中の複数の特定成分の強度の相互比較、例えばスペクトル強度分布10中のケイ素(Si)成分の強度と炭素(C)成分の強度との相互比較に基づきコンクリート1を検査する。



- | | | |
|-----------------------|---------------------|-----------|
| 1-被検査コンクリート | 2-鉄筋 | 3-被検査部位 |
| 5-レーザ装置 | 6-(パルス)レーザ光 | 7-プラズマ |
| 8-分光光度計 | 10-コンクリートのスペクトル強度分布 | |
| 11-コンピュータ | 12-スペクトル分析装置 | 14-記録装置 |
| 15-参照コンクリートのスペクトル強度分布 | 16-データ管理手段 | |
| 17-照射向き制御装置 | 18-検出向き制御装置 | 19-姿勢制御装置 |
| 20-コンクリート検査装置 | 21-ディスプレイ | 22-プリンタ |

【特許請求の範囲】

【請求項1】被検査コンクリートにレーザ光を照射してアブレーションによるプラズマを発生させ、該プラズマの発光のスペクトル強度分布により前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項2】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中の炭素成分及び／又はイオウ成分の強度に基づき前記コンクリートの中性化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項3】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び／又は塩素成分の強度に基づき前記コンクリートの塩害の影響度を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項4】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度に基づき前記コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項5】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び／又は鉄成分の強度に基づき前記コンクリートの酸による劣化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項6】請求項1の検査方法において、前記コンクリートを鉄筋コンクリートとし、前記スペクトル強度分布中の鉄成分の強度に基づき前記鉄筋の腐食を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項7】請求項1から6の何れかの検査方法において、前記スペクトル強度分布中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づき前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項8】請求項7の検査方法において、前記コンクリート中に放射性同位体と非放射性同位体とを含む元素がある場合に、前記スペクトル強度分布中の放射性同位体成分の強度と非放射性同位体成分の強度との相互比較に基づき前記コンクリートの放射化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項9】請求項1から8の何れかの検査方法において、参照コンクリートへのレーザ光照射によるプラズマ発光のスペクトル強度分布を求め、被検査コンクリート及び参照コンクリートのスペクトル強度分布の比較に基づき被検査コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項10】請求項9の検査方法において、前記参照コンクリートを健全コンクリート、中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート又は放射化コンクリートとしてなるコンクリート検査方法。

【請求項11】請求項1から10の何れかの検査方法において、前記コンクリートの表面の異なる部位にレーザ

光を照射してプラズマを発生させ、前記各部位におけるプラズマの発光に基づきコンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項12】請求項1から11の何れかの検査方法において、前記コンクリートの表面から深さが異なる複数部位にレーザ光を照射してプラズマを発生させ、前記各部位におけるプラズマの発光に基づきコンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項13】請求項12の検査方法において、前記コンクリートをレーザ光の同一部位への連続的照射により穿孔しながら前記深さが異なる複数部位でのプラズマの発光を測定してなるコンクリート検査方法。

【請求項14】請求項1から13の何れかの検査方法において、前記レーザ光を炭酸ガス(CO₂)レーザ光としてなるコンクリート検査方法。

【請求項15】被検査コンクリートにアブレーションによるプラズマを発生させ得る強度のレーザ光を出力するレーザ装置、前記プラズマの発光のスペクトル強度分布を測定する分光光度計、及び前記スペクトル強度分布により前記コンクリートを検査するスペクトル分析装置を備えてなるコンクリート検査装置。

【請求項16】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の炭素成分及び／又はイオウ成分の強度に基づきコンクリートの中性化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項17】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び／又は塩素成分の強度に基づきコンクリートの塩害の影響度を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項18】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度に基づき前記コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項19】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び／又は鉄成分の強度に基づき前記コンクリートの酸による劣化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項20】請求項15の検査装置において、前記被検査コンクリートを鉄筋コンクリートとし、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の鉄成分の強度に基づき前記鉄筋の腐食を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項21】請求項15から20の何れかの検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づき前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項22】請求項21の検査装置において、前記スペクトル分析装置により特定元素に含まれる放射性同位体成分の強度と該特定元素に含まれる非放射性同位体成分の強度との相互比較に基づき前記コンクリートの放射化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項23】請求項15から22の何れかの検査装置において、参照コンクリートに対するレーザ光照射により発生するプラズマの発光のスペクトル強度分布を記憶する記憶装置を設け、前記スペクトル分析装置により被検査コンクリート及び参照コンクリートのスペクトル強度分布の比較に基づき被検査コンクリートを検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項24】請求項15から23の何れかの検査装置において、前記レーザ装置を、同一部位への連続的照射により前記コンクリートの穿孔が可能なものとしてなるコンクリート検査装置。

【請求項25】請求項15から24の何れかの検査装置において、前記レーザ装置を炭酸ガス(CO₂)レーザ装置としてなるコンクリート検査装置。

【請求項26】請求項15から24の何れかの検査装置において、前記レーザ装置及び分光光度計の移動手段を設けてなるコンクリート検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はコンクリート検査方法及び装置に関し、とくに被検査コンクリートの中性化、塩害、コンクリート中の鉄筋腐食、放射化(放射線の吸収によりコンクリート中に放射性核種が生じることという。)等を検査する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】コンクリート構造物では、長期的に安全性・信頼性を維持するため、鉄筋の腐食状態を把握して適切な補強対策を立てることが求められる。コンクリートを剥離して鉄筋を露出させ目視で調査する方法は、構造上重要な部位への適用が難しく、復元のための多くの費用がかかる問題点がある。このため、従来からコンクリートの健全性の調査により鉄筋の腐食程度を定量的に把握する方法が実施されている。コンクリートの健全性調査の代表的なものは、コンクリートの中性化(炭酸化)進捗調査、塩害調査、鉄筋腐食の有無調査等である。

【0003】中性化とは、コンクリート中の主として水酸化ナトリウムが空気中の炭酸ガス(二酸化炭素)と反応して炭酸カルシウムに変化し、コンクリートがアルカリ性から中性に変わる現象である。健全なコンクリートは強アルカリ性を示し鋼材等に錆を生じさせないが、コンクリートの中性化が進行すると鋼材等が腐食し易くなる。中性化進捗調査は、コンクリートの中性化の進捗により鉄筋の腐食程度を把握するものである。空気中の亜硫酸ガス(二酸化硫黄、SO₂)により中性化が進行する

場合もある。また塩害とは、コンクリート中に存在し又は進入する塩素イオンの作用により鋼材が腐食して膨張し、コンクリートにひび割れや剥離等の劣化が起こる現象である。

【0004】従来は、コンクリート構造物からコンクリートコアや表面の切削粉等を採取し、採取したコアや切削粉を化学分析することによりコンクリートの中性化や塩害等を把握している。

【0005】

10 【発明が解決しようとする課題】しかし、前記化学分析による方法はコンクリートコアや切削粉等のサンプリングを必要とし、例えば大規模コンクリート構造物を調査する場合はサンプリングのために大掛かりな足場や治具等を用意しなければならないので、手間と時間がかかる問題点がある。また、サンプリング現場で直ちに化学分析することは困難であり、調査結果を得るまでに非常に時間がかかる問題点がある。

【0006】そこで本発明の目的は、大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】図1を参照するに、本発明のコンクリート検査方法は、被検査コンクリート1にレーザ光6を照射してアブレーションによるプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10(図2、3参照)によりコンクリート1を検査してなるものである。例えば、スペクトル強度分布10中の炭素(C)成分の強度に基づきコンクリート1の中性化を検査し、スペクトル強度分布10中のナトリウム(Na)成分及び/又は塩素(Cl)成分の強度に基づきコンクリート1の塩害の影響度(塩害の起こり易さ)を検査することができる。コンクリート1が鉄筋コンクリートである場合は、スペクトル強度分布10中の鉄(Fe)成分の強度に基づき鉄筋2の腐食を検査することができる。

30 【0008】好ましくは、スペクトル強度分布10中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づきコンクリート1を検査する。例えば、スペクトル強度分布10中のケイ素(Si)成分の強度と炭素(C)成分の強度との相互比較によりコンクリート1の中性化を検査する。更に好ましくは、参照コンクリートへのレーザ光6の照射によるプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15を求め、被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき被検査コンクリート1を検査する。参照コンクリートは、例えば健全コンクリート、中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート又は放射化コンクリート等とすることができる。

40 【0009】また図1のブロック図を参照するに、本発明のコンクリート検査装置20は、被検査コンクリート1

にアブレーションによるプラズマ7を発生させ得る強度のレーザ光6を出力するレーザ装置5、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10(図2参照)を測定する分光光度計8、及びスペクトル強度分布10によりコンクリート1を検査するスペクトル分析装置12を備えてなるものである。好ましくは、参照コンクリートに対するレーザ光6の照射により発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15を記憶する記憶装置14を設け、スペクトル分析装置12により被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき被検査コンクリート1を検査する。

【0010】

【発明の実施の形態】従来から、パワーの大きなパルスレーザ光を被検査体に照射すると表面近傍の物質が急激な加熱により溶融・気化するアブレーション(ablation)が起り、プラズマが被検査体の表面から飛び出すことが知られている(山中一司「レーザー超音波法の原理と応用」非破壊検査、第49巻5号、p292-299)。本発明者は、コンクリートにパルスレーザ光を照射する実験を行ったところ、前記アブレーションにより発生するプラズマの発光色がコンクリートの性状によって変化することを見出した。プラズマの発光色はコンクリート表面から溶融・気化した励起状態の元素から発生すると考えられ、プラズマの発光からコンクリート表面の元素組成等を検査することができる。本発明は、この知見に基づく研究開発の結果、完成に至ったものである。

【0011】図1のブロック図は、本発明によるコンクリート検査装置20の一実施例を示す。検査装置20は、コンクリート1の被検査部位3にレーザ光6を照射するレーザ装置5と、レーザ光6の照射により発生したプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定する分光光度計8と、スペクトル強度分布10に基づきコンクリート1の健全性等を検査するスペクトル分析装置12とを有する。

【0012】コンクリート1に照射するレーザ光6は、コンクリート1へ照射したときにアブレーションによってプラズマ7を発生させるに足る強度(パワー密度)を有するものとする。パワー密度が大きいレーザ光6を得るため、レーザ装置5を例えば炭酸ガス(CO₂)レーザ装置等の出力が大きいものとするのが好ましい。また大きなパワー密度が得やすいように、レーザ光6をパルスレーザ光とし、所定パルス数のパルスレーザ光をコンクリート1の被検査部位3に照射してもよい。但し、本発明は炭酸ガスレーザ装置やパルスレーザ光の使用に限定されず、YAG(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)レーザ装置等や連続レーザ光を使用することができる。

【0013】必要に応じてレーザ装置5に集光レンズを設け、照射域の面積を絞ることができる。照射域面積を絞ることにより、照射域におけるレーザ光6のパワー密

度を高め、前記プラズマ7の発生に足る強度としてもよい。

【0014】分光光度計8は、レーザ光6の照射により発生したプラズマ7の光を例えば集光レンズ等を介して取り入れ、取り入れた光を例えばプリズム等を用いてスペクトルに分解し、更に撮像素子等を用いてスペクトル強度分布10を測定する。例えば分光光度計8に被検査部位3の近傍に伸ばした光ファイバケーブルを設け、光ファイバケーブルを介してプラズマ7の発光を取り入れることができる。光ファイバケーブルを用いずに離れた位置からプラズマ7の発光を取り入れるため、分光光度計8に凹面鏡等の集光装置を設けることができる。集光装置を用いる場合は、雑音光の影響を受けないように、照明等のない暗部でコンクリート1にレーザ光6を照射してプラズマ7の発光を取り入れることが望ましい。例えば、トンネルのコンクリート壁等の検査では照明をおとして検査する。但し、背景光の雑音レベルと比較して十分な強度のプラズマ7の発光が得られるようにレーザ光6のパワーを調整することにより、太陽光や照明等がある場合でも信頼性の高い検査を行うことが期待できる。

【0015】スペクトル分析装置12は、分光光度計8に接続されており、分光光度計8で測定したスペクトル強度分布10を入力してコンクリート1の中性化、塩害の影響度、金属腐食の有無等を検査する。スペクトル分析装置12を例えばコンピュータ11とし、コンピュータ内蔵のプログラムによりスペクトル強度分布10を分析することができる。また、図示例のスペクトル分析装置12は記憶装置14を有し、後述するように、参照コンクリートにレーザ光6を照射したときに発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15等を記憶装置14に記憶している。

【0016】図1の検査装置20を参照して、本発明のコンクリート検査方法を説明する。レーザ装置5をコンクリート1の被検査部位3に向け、被検査部位3にレーザ光6を照射してプラズマ7を発生させる。また、分光光度計8の集光装置を被検査部位3に視準させ、プラズマ7の光を分光光度計8に取り入れる。分光光度計8によりプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定する。

【0017】本発明者は、他の手段により中性化の進行が確認できたコンクリート(以下、中性化コンクリートという。)と健全であることが確認できたコンクリート(以下、健全コンクリートという。)とを用い、レーザ光6の照射により発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10をそれぞれ測定する実験を行った。本実験では出力3.0~3.8JのTEA-CO₂レーザ(Transversely Excited Atmospheric pressure laser、大気圧横方向放電励起レーザ)光を用いた。実験結果を図2及び3に示す。図2は健全コンクリートのスペクトル強度分布10を示し、図3は中性化コンクリートのスペクトル強度分布

10を示す。図2と3のスペクトル強度分布10の比較から、中性化コンクリートでは健全コンクリートに比し炭素(C)成分のスペクトル強度が大きくなることが分かる。すなわち本実験から、コンクリートの前記スペクトル強度分布中の炭素成分の強度から、コンクリートの中性化を検査できることが確認できた。

【0018】炭素成分のスペクトル強度の大きさはレーザ光6の照射時間又はパルスレーザ光6の照射パルス数・パルス幅等によって変化するが、レーザ光6の照射時間又はパルス数等を定めることにより、炭素成分のスペクトル強度からコンクリートの中性化の進行度合いを検査することができる。また、図2及び3に示すように、コンクリートが中性化した場合でも例えばケイ素(Si)成分の強度は余り変化しないので、スペクトル強度分布10中のケイ素成分の強度と炭素成分の強度との相互比較(ケイ素成分強度による炭素成分強度の正規化)によりコンクリート1の中性化を検査することも可能である。

【0019】スペクトル分析装置12は、例えば中性化の進行に応じた炭素成分のスペクトル強度又はケイ素成分と炭素成分との強度比を記憶し、分光光度計8で計測したスペクトル強度分布10中の炭素成分の強度又はケイ素成分と炭素成分との強度比から、コンクリートの中性化又はその進行度合いを検査することができる。ケイ素成分と炭素成分との強度比によれば、レーザ光6の照射時間又はパルス数等が一定でない場合であっても、コンクリートの中性化又はその進行度合いを比較的確正に検査することが期待できる。

【0020】なお、炭素成分の強度ではなく、スペクトル強度分布中のイオウ成分の強度から、亜硫酸ガスによる中性化を検査することも期待できる。この場合は、中性化の進行に応じたイオウ成分のスペクトル強度又はケイ素成分とイオウ成分との強度比を記憶し、分光光度計8で計測したスペクトル強度分布10中のイオウ成分の強度又はケイ素成分とイオウ成分との強度比から、コンクリートの亜硫酸ガスによる中性化又はその進行度合いを検査する。炭素成分及びイオウ成分の両者の強度による中性化の検査も可能である。

【0021】また本発明者は、更なる実験により、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び/又は塩素成分の強度からコンクリート1の塩害の影響度が検査できること、及び鉄成分の強度に基づき鉄筋コンクリート1中の鉄筋2の腐食が検査できることを確認できた。

【0022】従って、レーザ光6の照射時間又はパルス数等を定め、塩害の影響度に応じたナトリウム成分及び/又は塩素成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1における塩害の影響度を検査することができる。また、鉄筋の腐食度合いに応じた鉄成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1中の鉄

筋2の腐食が検査できる。更にスペクトル強度分布10中の他の特定成分、例えばケイ素成分のスペクトル強度とナトリウム成分、塩素成分又は鉄成分のスペクトル強度との相互比較により、コンクリート1における塩害の影響度又は鉄筋2の腐食度を検査することも可能である。

【0023】また、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度から、コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度(アルカリ骨材反応の起こり易さ)を検査することができる。アルカリ骨材反応とは、骨材に含まれる不定形シリカ鉱物等とセメントに含まれるナトリウム、カリウム等のアルカリが水の存在下で反応してアルカリケイ酸塩を生成し、これの膨張作用によりコンクリートにひび割れ、ポップアウト、組織崩壊等を生じさせる現象である。コンクリートがアルカリ分を多く含んでいるほどアルカリ骨材反応が起こり易い。従って、アルカリ骨材反応の影響度に応じた強アルカリ成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1のスペクトル強度分布10中の強アルカリ成分の強度から、該コンクリート1のアルカリ骨材反応の影響度を検査することができる。

【0024】更に、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び/又は鉄成分の強度から、コンクリートの酸による劣化を検査することも期待できる。酸による劣化とは、下水や酸性河川水、温泉水、酸性雨等によりコンクリート中の水酸化カルシウム(Ca(OH)_2)が消費され、セメント硬化体が分解する現象である。従来、コンクリートの酸による劣化は表面から進行し、表面付近の劣化層と内側の健全コンクリートとの境界部に以下のようなマグネシウム、アルミニウム、鉄等の濃縮層が生成されることが報告されている(第117回鉄道総研月例発表会要旨)。

(1) 下水等の強い酸の場合は鉄、アルミニウム、マグネシウムが濃縮する。

(2) 中程度の酸では鉄は濃縮せず、アルミニウム、マグネシウムが濃縮する。

(3) 酸性雨等の弱い酸の時にはマグネシウムだけが濃縮する。

(4) 炭酸化だけを生じた場合にはこれらの濃縮層は何れも生じない。

(5) 酸の影響を受けない場合もこれらの濃縮層は生じない。

【0025】従って、スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び/又は鉄成分の強度から前記濃縮層を検出することにより、コンクリートの酸による劣化や酸の強さを検査することが期待できる。また、マグネシウム成分の強度から、単純に炭酸ガスだけの影響による劣化であるか、又は酸性雨等の影響も受けた劣化であるかを検査することができる。なお、濃縮層はコンクリート表面ではなく劣化層の内側にあるので、

酸による劣化の検査では、後述するように、レーザ光6の同一部位への連続的照射によりコンクリート1を穿孔しながらスペクトル強度分布を測定する方法が有効である。

【0026】図1に示すように、記憶装置14に参照コンクリートのスペクトル強度分布15を記憶しておけば、スペクトル分析装置12により被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき検査をすることができる。例えば記憶装置14に健全コンクリートのスペクトル強度分布15(図2参照)を記憶しておけば、被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10との差から被検査コンクリート1に特有の成分を見出すことも可能であり、炭素、イオウ、ナトリウム、塩素、鉄、強アルカリ等以外の成分に基づくコンクリート1の検査も期待できる。記憶手段14に中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート等の進行に応じた複数のスペクトル強度分布15を記憶しておき、それらのスペクトル強度分布15と被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10との比較により、コンクリート1の中性化、塩害、アルカリ骨材反応、酸による劣化又は鉄筋2の腐食の進行度合いを検査することも可能である。

【0027】本発明は、レーザ光6の照射によりコンクリート1にプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10によってコンクリート1の中性化、塩害の影響度、鉄筋腐食の程度等を非接触で検査することができるので、離れた位置からコンクリート1の健全性を検査できる。非接触検査であるため足場等を組む必要がなく、従来の方法に比し広いコンクリート面に対する検査作業の容易化、迅速化が図れる。

【0028】こうして本発明の目的である「大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置」の提供が達成される。

【0029】図1に示すように、上述したスペクトル分析装置12による検査結果は、例えばディスプレイ21やプリンタ22に出力してリアルタイムで参照することができる。また、例えばデータ管理手段16に検査結果を記録・保存することにより、コンクリート1の経時的な検査履歴等を作成してコンクリート1の維持・管理に利用できる。更に、本発明の検査装置20は移動させながらコンクリート1上の複数の被検査部位3を検査することができ、被検査部位3の位置測量システム等と組み合わせることにより、コンクリート検査の自動化への寄与も期待できる。

【0030】

【実施例】本発明では、被検査コンクリート1の表面上の複数の被検査部位3、又は表面からの深さが異なる複数の被検査部位3にレーザ光6を照射してプラズマ7を発生させ、各部位3におけるプラズマ7の発光のスペク

トル強度分布10を測定することによりコンクリート1を検査することも可能である。例えばコンクリートの中性化は、先ず空気と接する表面に起こり、時間の経過と共に中性化領域が内部に進行することが知られている。例えばコンクリート1の表面を所定厚さで削り取りながらレーザ光6を照射し、各削り取り段階でのプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定して中性化を検査することにより、コンクリートの中性化深さを検査することができる。同様に、コンクリート1の塩害の影響度やアルカリ骨材反応の影響度、酸による腐食、鉄筋の腐食等についても、深さ方向での検査が可能である。

【0031】また本発明者は、レーザ光6の同一部位への連続的照射によりコンクリート1の穿孔が可能であり、コンクリートをレーザ光6で穿孔しながら同時にコンクリート1の深さ方向の異なる部位の検査が可能であることを見出した。すなわち本発明では、レーザ光6の照射によりコンクリート1の表面近傍の物質が溶融・気化するので、照射部位に新たな表面が形成される。その新たな表面にレーザ光6を連続的に照射することにより、新たな表面の物質を溶解・気化させ、照射部位にコンクリート1の深さ方向の孔を穿つことができる。また、この穿孔過程におけるプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を連続的に測定することができる。例えば、レーザ光6をコンクリート1の同一部位へ連続的に照射しながら、コンクリート1の中性化深さやアルカリ骨材反応の深さ、酸による劣化の深さ等を検査することが期待できる。また、パルスレーザ光6を数回照射することでコンクリート表面の汚れを除去できるので、検査の精度を高めるという効果も期待できる。

【0032】図1の実施例では、レーザ光6の照射向きを制御する照射向き制御装置17、及びレーザ光6の照射向きに追従して分光光度計8又はその集光装置の視準向きを制御する視準向き制御装置18を設け、レーザ光6の照射向きと分光光度計8又は集光装置の視準向きとを変化させることにより、コンクリート1上の複数部位の効率的な検査を可能としている。本発明は、レーザ光6の照射によりプラズマ7を発生させることができれば、コンクリート1に対するレーザ光6の入射角が変化しても問題はない。

【0033】また図4は、図1に示す検査装置20を台車等の移動体30に搭載し、移動体30が、通路37に沿って延びるコンクリート1の構造物を移動しながら検査する実施例を示す。同図は、トンネル36のコンクリート壁を検査する場合を示す。この場合、照射向き制御装置17及び視準向き制御装置18により、移動体30の進行方向と交差する平面31上でレーザ光6の照射向きを変化させると共に、照射向きに追従して分光光度計8又は集光装置の視準向きを変化させる。この制御により、平面31とコンクリート表面との交線32上の複数の被検査部位3iを効率的に検査することができる。

【0034】移動体30の進行に応じて、上述したレーザ光6の照射向き制御と分光光度計8又は集光装置の視線向き制御とを繰り返し、進行方向に隔てた複数の交線32上で検査を繰り返すことにより、通路37に沿って延びるコンクリート1の全域を効率よく検査することができる。図4の実施例によれば、トンネルコンクリート壁の維持管理に必要な検査作業を夜間等の限られた時間内に短時間で行うことが可能であり、従来方法に比し検査作業の大幅な簡易化、省力化、迅速化が図れる。

【0035】以上、コンクリート1の健全性の検査に対する本発明の適用について説明したが、図1の検査装置20を健全性検査以外の他の用途、例えばコンクリート1の放射化の検査に適用することも期待できる。例えば原子力発電所の廃炉措置（デコミッションング）では、放射化の度合いによってコンクリートや配管類の処理費用が大きく異なるため、解体破砕したコンクリートがどの程度放射化されているかを測定することが重要となる。従来は、コンクリートの放射化状況をシュミレーション等によって事前に推定するか、又は現場からコンクリートコア等を採取して別途ガイガーカウンター等の計測装置で放射化状況を確認し、その放射化状況に応じて定まる深さまでを表面から一括りにして解体している。しかしこの方法では、放射化の測定に手間がかかるだけでなく、実際の汚染度に拘わらず全てのコンクリート壁面に対し同じ深さの解体処理を行なわねばならず、放射化の程度に応じて効率的な解体作業を行うことが難しい問題点がある。

【0036】図5は、原子力発電所の廃炉措置に本発明を適用した実施例を示す。同図の検査装置20は、コンクリート1解体用の遠隔操作ロボット34に取り付けられ、コンクリート1のレーザ光照射時のプラズマ発光のスペクトル強度分布10中における放射性同位体成分の強度と非放射性同位体成分の強度とを相互比較することにより、コンクリート1の放射化を検査するものである。コンクリート中に放射性同位体と非放射性同位体とを含む元素がある場合は、コンクリートの放射化に応じて放射性同位体と非放射性同位体との割合が変化すると考えられる。例えば放射化の進行に応じた放射性同位体と非放射性同位体とのスペクトル強度比を記憶しておけば、図1のコンクリート1のスペクトル強度分布10に基づき、スペクトル分析装置12によりコンクリート1の放射化を検査することが期待できる。

【0037】図5の実施例では、ロボット34のアーム35でコンクリート1の表面を所定厚さで削り取りながらレーザ光6を照射し、各削り取り段階でのプラズマ発光のスペクトル強度分布10を測定して放射化を検査する。この実施例によれば、放射化が所定レベル以下になるまでコンクリート1の解体を行い、放射化の程度に応じてコンクリートの解体作業を進めることができるので、実情

に適合した効率的な解体処理が期待できる。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のコンクリート検査方法及び装置は、コンクリートにレーザ光を照射してアブレーションによるプラズマを発生させ、プラズマの発光のスペクトル強度分布によりコンクリートを検査するので、次の顕著な効果を奏する。

【0039】(イ)コンクリートの健全性を非接触で検査できるので、足場等を設置する必要がなく、従来方法に比し検査作業の大幅な省力化、効率化が図れる。

(ロ)単独のスペクトル強度分布からコンクリートの中性化、塩害の影響度、アルカリ骨材反応の影響度、酸による劣化、鉄筋の腐食度等を検査することができ、検査部位に対し複数回の調査を行う必要がない。

(ハ)レーザ装置の照射向きを変えながらコンクリート壁の複数部位を検査できるので、広いコンクリート面等をも簡単に短時間で検査することができる。

(ニ)移動しながら検査することができるので、運用中のトンネル等のコンクリート壁も簡単に短時間で検査することができる。

(ホ)コンクリートの放射化の検査も期待でき、原子力発電所等の効率的な解体処理への適用が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】は、本発明装置の一実施例のブロック図である。

【図2】は、健全コンクリートのプラズマ発光のスペクトル強度分布を示すグラフの一例である。

【図3】は、中性化コンクリートのプラズマ発光のスペクトル強度分布を示すグラフの一例である。

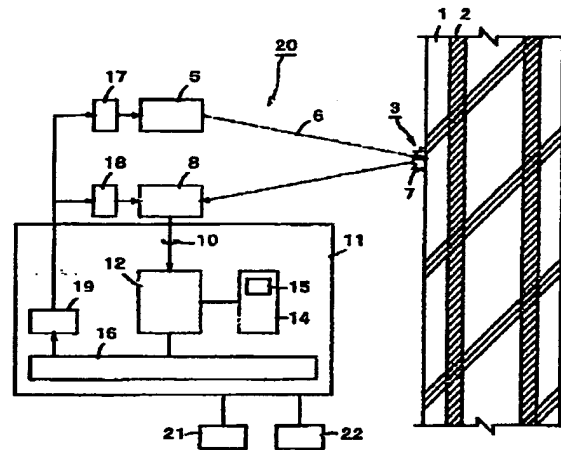
【図4】は、本発明の他の実施例の説明図である。

【図5】は、本発明の更に他の実施例の説明図である。

【符号の説明】

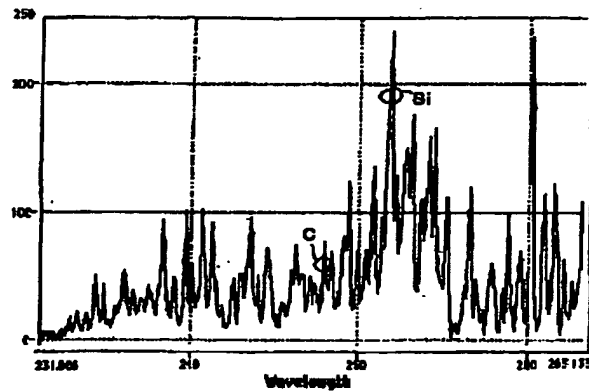
- | | |
|------------------------|-----------------|
| 1…被検査コンクリート | 2…鉄筋 |
| 3、3i…被検査部位 | 4…腐食部位 |
| 5…レーザ装置 | 6…レーザ光（パルスレーザ光） |
| 7…プラズマ | 8…分光光度計 |
| 10…被検査コンクリートのスペクトル強度分布 | |
| 11…コンピュータ | 12…スペクトル分析装置 |
| 14…記憶装置 | |
| 15…参照コンクリートのスペクトル強度分布 | |
| 16…データ管理手段 | 17…照射向き制御装置 |
| 18…視線向き制御装置 | 19…姿勢制御装置 |
| 20…コンクリート検査装置 | |
| 21…ディスプレイ | 22…プリンタ |
| 30…移動体 | 31…平面 |
| 32…交線 | 34…遠隔操作ロボット |
| 35…アーム | 36…トンネル |
| 37…通路 | |

【図1】

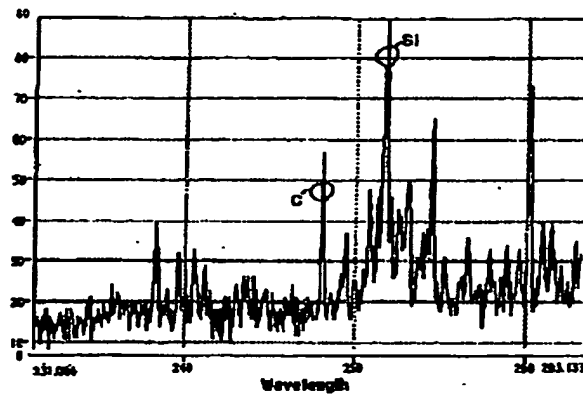


- 1…被検査コンクリート 2…鉄筋 3…被検査部位
 5…レーザ装置 6…(パルス)レーザ光 7…プラズマ
 8…分光光度計 10…コンクリートのスペクトル強度分布
 11…コンピュータ 12…スペクトル分析装置 14…記憶装置
 15…参照コンクリートのスペクトル強度分布 16…データ管理手段
 17…照射向き制御装置 18…視準向き制御装置 19…姿勢制御装置
 20…コンクリート検査装置 21…ディスプレイ 22…プリンタ

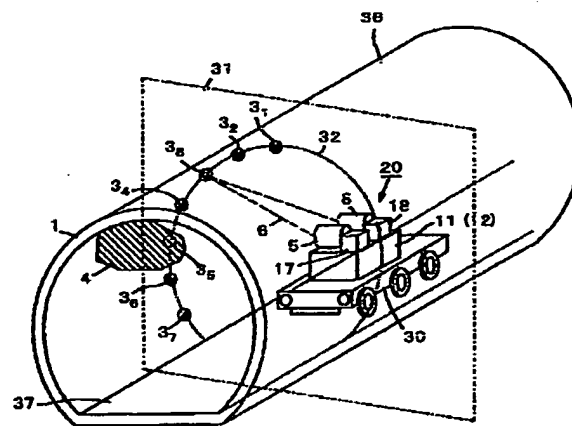
【図2】



【図3】

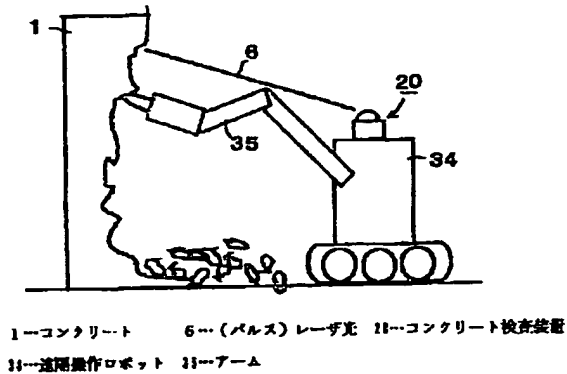


【図4】



- | | | |
|-------------|---------------|-------------|
| 1…被検査コンクリート | 11…被検査部位 | 4…搬送部位 |
| 5…レーザ装置 | 6…(パルス)レーザ光 | 8…分光光度計 |
| 11…コンピュータ | 12…スペクトル分析装置 | 13…照射向き制御装置 |
| 14…視準向き制御装置 | 14…コンクリート検査装置 | 15…移動体 |
| 16…平面 | 16…交路 | 16…トンネル |
| 17…通路 | | |

【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 N 33/38

識別記号

F I

G 0 1 N 33/38

テーマコード(参考)

Fターム(参考) 2D055 LA13 LA16

2G043 AA01 AA03 BA02 BA03 BA06

BA07 BA11 CA05 DA01 DA09

EA10 FA01 FA05 GA08 GB21

JA01 JA05 KA08 KA09 LA01

MA01 NA01

2G050 AA02 BA02 BA03 BA05 BA06

CA01 DA01 EA02 EB07

2G055 AA13 BA12 CA07 EA07 EA08

FA02 FA04

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-296183

(43)Date of publication of application : 09.10.2002

(51)Int.Cl.

G01N 21/63
E21D 11/10
G01N 17/00
G01N 21/71
G01N 33/20
G01N 33/38

(21)Application number : 2001-102486

(71)Applicant : KAJIMA CORP

(22)Date of filing : 30.03.2001

(72)Inventor : MIURA SATORU

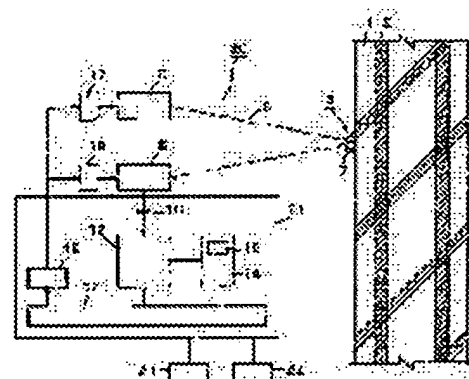
TSUYUKI KENICHIRO

(54) METHOD AND DEVICE FOR INSPECTING CONCRETE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and device for inspecting a concrete capable of easily inspecting even a large scale concrete structure in a short time.

SOLUTION: A concrete 1 which is to be inspected is irradiated with laser light 6 to generate plasma 7 under abrasion. The concrete 1 is inspected with an emission spectral intensity distribution 10 of the plasma 7. For example, neutralization of the concrete 1 is inspected based on the intensity of carbon(C) component in the spectral intensity distribution 10, while the effect level of salt damage of the concrete 1 is inspected based on the intensity of sodium(Na) component and/or chlorine(Cl) component in the spectral intensity distribution 10. In the case of ferroconcrete, corrosion of a reinforcing steel 2 is inspected based on the intensity of iron(Fe) component in the spectral intensity distribution 10. It is preferred that concrete 1 is inspected based on the comparison of intensity between a plurality of specified components in the spectral intensity distribution 10, for example based on the comparison between the intensity of silicon(Si) component and that of carbon in the spectral intensity distribution 10.



1...被検査コンクリート、2...鉄筋、3...レーザー光線、4...レンズ、5...フィルター、6...レーザー光線、7...プラズマ、8...検出器、9...制御部、10...スペクトル強度分布、11...比較部、12...レンズ、13...フィルター、14...レンズ、15...フィルター、16...検出器、17...制御部、18...表示部、19...電源

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the

· examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to the approach and equipment which inspect the reinforcement corrosion in carbonation of inspected concrete, salt damage, and concrete, activation (it says that radionuclide arises in concrete by absorption of a radiation.), etc. about the concrete inspection approach and equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the concrete structure, in order to maintain safety and dependability in the long run, grasping the corroded condition of reinforcement and forming the suitable cure against reinforcement is called for. Application to an important part is difficult for the approach of exfoliating concrete, making expose reinforcement and investigating visually on structure, and it has the trouble that many costs for restoration start. For this reason, the method of grasping corrosion extent of reinforcement quantitatively by investigation of the soundness of concrete from the former is enforced. The typical things of soundness investigation of concrete are carbonation (carbonation) progress investigation of concrete, salt damage investigation, existence investigation of reinforcement corrosion, etc.

[0003] Carbonation is a phenomenon in concrete which a sodium hydroxide mainly reacts with the carbon dioxide gas in air (carbon dioxide), changes to a calcium carbonate, and changes concrete to neutrality from alkalinity. Although healthy concrete shows strong-base nature and steel materials etc. are not made to produce rust, if carbonation of concrete advances, it will become easy to corrode steel materials etc. Carbonation progress investigation grasps corrosion extent of reinforcement by progress of carbonation of concrete. Carbonation may advance with the sulfur dioxide in air (a sulfur dioxide, SO₂). Moreover, salt damage is the phenomenon in which steel materials corrode according to an operation of the chlorine ion which exists or advances into concrete, expand, and degradation of a crack, exfoliation, etc. takes place to concrete.

[0004] Conventionally, from the concrete structure, a concrete core, surface cutting powder, etc. were extracted and carbonation, salt damage, etc. of concrete are grasped by analyzing chemically the core and cutting powder which were extracted.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since the large-scale scaffold, large-scale fixture, etc. for a sampling must be prepared when the approach by said chemical analysis needs the sampling of a concrete core, cutting powder, etc., for example, it investigates the large-scale concrete structure, there is a trouble of taking time and effort and time amount. Moreover, there is a trouble of taking time amount very much before it is difficult to analyze chemically immediately in a sampling site and obtaining results of an investigation.

[0006] Then, the purpose of this invention is to offer the concrete inspection approach and equipment which can also inspect the large-scale concrete structure easily in a short time.

[0007]

[Means for Solving the Problem] With reference to drawing 1, the concrete inspection approach of this invention irradiates a laser beam 6 at the inspected concrete 1, generates the plasma 7 by ablation, and comes to inspect concrete 1 according to the spectral intensity distribution 10 (drawing 2, 3 reference) of luminescence of the plasma 7. For example, carbonation of concrete 1 can be inspected based on the reinforcement of the carbon (C) component under spectral intensity distribution 10, and whenever [effect / of the salt damage of concrete 1] (the ease of happening of salt damage) can be inspected based on the reinforcement of the sodium (Na) component under spectral intensity distribution 10, and/or a chlorine (Cl) component. When concrete 1 is a reinforced concrete, the corrosion of reinforcement 2 can be inspected based on the reinforcement of the iron (Fe) component under spectral intensity distribution 10.

[0008] Preferably, concrete 1 is inspected based on the mutual comparison of the reinforcement of two or more specific

components under spectral intensity distribution 10. For example, carbonation of concrete 1 is inspected by the mutual comparison with the reinforcement of the silicon (Si) component under spectral intensity distribution 10, and the reinforcement of a carbon (C) component. Furthermore, preferably, the spectral intensity distribution 15 of luminescence of the plasma 7 by the exposure of the laser beam 6 to reference concrete is searched for, and the inspected concrete 1 is inspected based on the comparison with the spectral intensity distribution 10 of the inspected concrete 1 and the spectral intensity distribution 15 of reference concrete. Reference concrete can be used as healthy concrete and carbonation concrete, salt damage concrete, the degradation concrete by the potential alkali reactivity of cement aggregate combination, the degradation concrete by the acid, a corrosion reinforced concrete, or activation concrete.

[0009] Moreover, with reference to the block diagram of drawing 1, the concrete test equipment 20 of this invention comes to have the laser equipment 5 which outputs the strong laser beam 6 which may make the inspected concrete 1 generate the plasma 7 by ablation, the spectrophotometer 8 which measures the spectral intensity distribution 10 (refer to drawing 2) of luminescence of the plasma 7, and analysis-of-a-spectrum equipment 12 which inspects concrete 1 according to the spectral intensity distribution 10. The storage 14 which memorizes preferably the spectral intensity distribution 15 of luminescence of the plasma 7 generated by the exposure of the laser beam 6 to reference concrete is formed, and the inspected concrete 1 is inspected based on the comparison with the spectral intensity distribution 10 of the inspected concrete 1 and the spectral intensity distribution 15 of reference concrete with analysis-of-a-spectrum equipment 12.

[0010]

[Embodiment of the Invention] If a big pulse laser light of power is irradiated at an inspected object, melting and the ablation (ablation) to evaporate will happen from the former with heating with the rapid matter near the front face, and it is known that the plasma will jump out of the front face of an inspected object (the principle of a laser ultrasonic wave method, Ichiji Yamanaka "application" nondestructive inspection, volume [49th] No. 5, p292-299). When this invention person conducted the experiment which irradiates pulse laser light on concrete, he found out that the luminescent color of the plasma generated by said ablation changed with the descriptions of concrete. The luminescent color of the plasma is considered to generate from melting and the vaporized element of an excitation state from a concrete front face, and can inspect the elementary composition on the front face of concrete etc. from luminescence of the plasma. This invention results in completion as a result of the researches and developments based on this knowledge.

[0011] The block diagram of drawing 1 shows one example of the concrete test equipment 20 by this invention. Test equipment 20 has the laser equipment 5 which irradiates a laser beam 6, the spectrophotometer 8 which measures the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 generated by the exposure of a laser beam 6, and analysis-of-a-spectrum equipment 12 which inspects the soundness of concrete 1 etc. based on the spectral intensity distribution 10 to the inspected part 3 of concrete 1.

[0012] The laser beam 6 which irradiates concrete 1 shall have the reinforcement (power density) made sufficient for generating the plasma 7 by ablation, when it irradiates to concrete 1. In order to obtain the laser beam 6 with large power density, it is desirable to make laser equipment 5 into what has the large output of for example, carbon-dioxide-gas (CO₂) laser equipment etc. Moreover, a laser beam 6 may be made into pulse laser light, and the pulse laser light of a predetermined pulse number may be irradiated to the inspected part 3 of concrete 1 so that it may be easy to obtain big power density. However, this invention is not limited to use of carbon-dioxide-gas-laser equipment or pulse laser light, but can use YAG (yttrium aluminum garnet) laser equipment etc. and a continuation laser beam.

[0013] A condenser lens can be prepared in laser equipment 5 if needed, and the area of an exposure region can be extracted. By extracting exposure region area, it is good also as reinforcement which raises the power density of the laser beam 6 in an exposure region, and is sufficient for generating of said plasma 7.

[0014] A spectrophotometer 8 takes in the light of the plasma 7 generated by the exposure of a laser beam 6 through a condenser lens etc., decomposes the taken-in light into a spectrum using prism etc., and measures the spectral intensity distribution 10 using an image sensor etc. further. For example, the fiber optic cable lengthened near the inspected part 3 to the spectrophotometer 8 can be formed, and luminescence of the plasma 7 can be taken in through a fiber-optic cable. Since luminescence of the plasma 7 is taken in from the location left without using a fiber optic cable, beam condensing units, such as a concave mirror, can be formed in a spectrophotometer 8. When using a beam condensing unit, it is desirable to irradiate a laser beam 6 by the umbra without lighting etc. at concrete 1, and to take in luminescence of the plasma 7 so that it may not be influenced of noise light. For example, lighting is dropped and inspected in inspection of the concrete wall of a tunnel etc. However, even when there are sunlight, lighting, etc. by adjusting the power of a laser beam 6 so that luminescence of the plasma 7 of sufficient reinforcement may be obtained as compared with the noise level of background light, it can expect to conduct reliable inspection.

[0015] It connects with the spectrophotometer 8, and analysis-of-a-spectrum equipment 12 inputs the spectral intensity

· distribution 10 measured with the spectrophotometer 8, and inspects the existence of metallic corrosion etc. whenever [carbonation / of concrete 1 /, and effect / of salt damage]. Analysis-of-a-spectrum equipment 12 can be used as a computer 11, and a program with a built-in computer can analyze the spectral intensity distribution 10. Moreover, the analysis-of-a-spectrum equipment 12 of the example of illustration has memorized the spectral intensity distribution 15 grade of luminescence of the plasma 7 generated when a laser beam 6 is irradiated at reference concrete so that storage 14 may be had and mentioned later to storage 14.

[0016] The concrete inspection approach of this invention is explained with reference to the test equipment 20 of drawing 1. Laser equipment 5 is turned to the inspected part 3 of concrete 1, a laser beam 6 is irradiated to the inspected part 3, and the plasma 7 is generated. Moreover, the inspected part 3 is made to carry out the collimation of the beam condensing unit of a spectrophotometer 8, and the light of the plasma 7 is taken in to a spectrophotometer 8. The spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 is measured with a spectrophotometer 8.

[0017] this invention person conducted the experiment which measures the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 generated by the exposure of a laser beam 6, respectively using the concrete (henceforth carbonation concrete) which has checked advance of carbonation with other means, and the concrete (henceforth healthy concrete) which has checked the healthy thing. In this experiment, the TEA-CO₂ laser (Transversely Excited Autospheric pressure laser, atmospheric pressure longitudinal direction discharge excitation laser) light of outputs 3.0-3.8J was used. An experimental result is shown in drawing 2 and 3. Drawing 2 shows the spectral intensity distribution 10 of healthy concrete, and drawing 3 shows the spectral intensity distribution 10 of carbonation concrete. The comparison of drawing 2 and the spectral intensity distribution 10 of 3 shows that compare with healthy concrete and the spectral intensity of a carbon (C) component becomes large with carbonation concrete. That is, it has checked that carbonation of concrete could be inspected from the reinforcement of the carbon component under said spectral intensity distribution of this experiment to concrete.

[0018] Although the magnitude of the spectral intensity of a carbon component changes with the exposure pulse number, the pulse width, etc. of the irradiation time of a laser beam 6, or the pulse laser light 6, the degree of completion of carbonation of concrete can be inspected from the spectral intensity of a carbon component by defining irradiation time or a pulse number of a laser beam 6 etc. Moreover, as shown in drawing 2 and 3, even when concrete is carbonated, since the reinforcement of for example, a silicon (Si) component seldom changes, it can also inspect carbonation of concrete 1 by the mutual comparison (normalization of the carbon component reinforcement by silicon component reinforcement) with the reinforcement of the silicon component under spectral intensity distribution 10, and the reinforcement of a carbon component.

[0019] The spectral intensity of the carbon component according to advance of carbonation or the intensity ratio of a silicon component and a carbon component can be memorized, and analysis-of-a-spectrum equipment 12 can inspect carbonation of concrete, or its degree of completion from the reinforcement of the carbon component for example, under spectral intensity distribution 10 measured with the spectrophotometer 8, or the intensity ratio of a silicon component and a carbon component. According to the intensity ratio of a silicon component and a carbon component, even if it is the case which is not fixed, it is expectable to inspect comparatively correctly carbonation of concrete or its degree of completion.

[0020] In addition, it is also expectable from not the reinforcement of a carbon component but the reinforcement of the sulfur component under spectral intensity distribution to inspect carbonation by the sulfur dioxide. In this case, the spectral intensity of the sulfur component according to advance of carbonation or the intensity ratio of a silicon component and a sulfur component is memorized, and the carbonation by the sulfur dioxide of concrete or its degree of completion is inspected from the reinforcement of the sulfur component under spectral intensity distribution 10 measured with the spectrophotometer 8, or the intensity ratio of a silicon component and a sulfur component. Inspection of carbonation by the reinforcement of both carbon component and sulfur component is also possible.

[0021] Moreover, this invention person has checked that whenever [effect / of the salt damage of concrete 1] can be inspected from the reinforcement of the sodium component under said spectral intensity distribution of concrete, and/or a chlorine component, and that the corrosion of the reinforcement 2 in a reinforced concrete 1 could be inspected based on the reinforcement of an iron component by the further experiment.

[0022] Therefore, if irradiation time or a pulse number of a laser beam 6 etc. is defined and the spectral intensity of the sodium component according to whenever [effect / of salt damage] and/or a chlorine component is memorized, whenever [effect / of the salt damage in concrete 1] can be inspected with analysis-of-a-spectrum equipment 12. Moreover, if the spectral intensity of the iron component according to the corrosion degree of reinforcement is memorized, the corrosion of the reinforcement 2 in concrete 1 can be inspected with analysis-of-a-spectrum equipment 12. Furthermore, it is also possible to inspect whenever [effect / of the salt damage in concrete 1], or the corrosion rate of reinforcement 2 by the mutual comparison with the spectral intensity of other specific components under spectral intensity distribution 10, for example, the spectral intensity of a silicon component and a sodium component, a chlorine

component, or an iron component.

[0023] Moreover, whenever [effect / of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination of concrete] (the ease of happening of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination) can be inspected from the reinforcement of the sodium component under said spectral intensity distribution of concrete, and the strong-base component of a potassium component and others. The potential alkali reactivity of cement aggregate combination is the phenomenon of alkali contained in the indeterminate form silica minerals contained in the aggregate and cement, such as sodium and a potassium, reacting under existence of water, generating an alkali silicate, crocodiling to concrete by the swelling of this, and producing pop out, a tissue displaceability, etc. The potential alkali reactivity of cement aggregate combination tends to occur, so that concrete contains many alkalinity. Therefore, if the spectral intensity of the strong-base component according to whenever [effect / of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination] is memorized, whenever [effect / of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination of this concrete 1] can be inspected with analysis-of-a-spectrum equipment 12 from the reinforcement of the strong-base component under spectral intensity distribution 10 of concrete 1.

[0024] Furthermore, it is also expectable from the reinforcement of the magnesium component under said spectral intensity distribution of concrete, an aluminum component, and/or an iron component to inspect degradation by the acid of concrete. Degradation by the acid is a phenomenon which the calcium hydroxide in concrete ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) is consumed by sewage, acid river water, hot spring water, acid rain, etc., and a cement hardening object decomposes. Conventionally, degradation by the acid of concrete advances from a front face, and it is reported that concentration layers, such as the following magnesium, aluminum, and iron, are generated by the boundary section of the degradation layer near a front face and inside healthy concrete (the 117th railroad total ***** exhibition summary).

- (1) In the case of strong acids, such as sewage, iron, aluminum, and magnesium condense.
- (2) From the acid of whenever [middle], don't condense iron but aluminum and magnesium condense it.
- (3) Only magnesium condenses at the time of weak acids, such as acid rain.
- (4) When only carbonation is produced, produce no these concentration layers.
- (5) Also when not influenced of an acid, don't produce these concentration layers.

[0025] Therefore, it is expectable by detecting said concentration layer from the reinforcement of the magnesium component under spectral intensity distribution, an aluminum component, and/or an iron component to inspect the strength of degradation by the acid of concrete or an acid. Moreover, it can inspect whether it is degradation influenced by the reinforcement of a magnesium component of whether it is degradation under the effect only of carbon dioxide gas simply, acid rain, etc. In addition, since there is a concentration layer inside the degradation layer instead of a concrete front face, while the continuous exposure to the same part of a laser beam 6 punches concrete 1 in inspection of degradation by the acid so that it may mention later, the approach of measuring spectral intensity distribution is effective.

[0026] If the spectral intensity distribution 15 of reference concrete is memorized to storage 14 as shown in drawing 1, based on the comparison with the spectral intensity distribution 10 of the inspected concrete 1 and the spectral intensity distribution 15 of reference concrete, it can inspect with analysis-of-a-spectrum equipment 12. For example, if the spectral intensity distribution 15 (refer to drawing 2) of healthy concrete is memorized to storage 14, it is also possible to find out a component peculiar to the inspected concrete 1 from a difference with the spectral intensity distribution 10 of the inspected concrete 1, and the inspection of concrete 1 based on components other than carbon, sulfur, sodium, chlorine, iron, a strong base, etc. can also be expected. Two or more spectral intensity distribution 15 which responded to advance of carbonation concrete, salt damage concrete, the degradation concrete by the potential alkali reactivity of cement aggregate combination, the degradation concrete by the acid, a corrosion reinforced concrete, etc. is memorized for the storage means 14, and it is also possible to inspect the degree of completion of degradation by carbonation of concrete 1, salt damage, the potential alkali reactivity of cement aggregate combination, and the acid or the corrosion of reinforcement 2 by the comparison with those spectral intensity distribution 15 and spectral intensity distribution 10 of the inspected concrete 1.

[0027] Since this invention makes concrete 1 generate the plasma 7 by the exposure of a laser beam 6 and can inspect extent of reinforcement corrosion etc. by non-contact according to the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 whenever [carbonation / of concrete 1 /, and effect / of salt damage], it can inspect the soundness of concrete 1 from the distant location. Since it is non-contact inspection, it is not necessary to construct a scaffold etc., and it compares with the conventional approach and easy-izing of the inspection to a large concrete side and speeding up can be attained.

[0028] In this way, offer of "the concrete inspection approach that the large-scale concrete structure can also be inspected easily in a short time, and equipment" which is the purpose of this invention is attained.

[0029] As shown in drawing 1, the inspection result by the analysis-of-a-spectrum equipment 12 mentioned above is outputted to a display 21 or a printer 22, and can be referred to on real time. Moreover, the inspection hysteresis of

concrete 1 with time etc. is created by recording and saving an inspection result for the data control means 16, and it can use for maintenance and management of concrete 1, for example. Furthermore, the test equipment 20 of this invention can inspect two or more inspected parts 3 on concrete 1, making it move, and the contribution to automation of concrete inspection can also expect it by combining with the location survey system of the inspected part 3 etc.

[0030]

[Example] When a laser beam 6 is irradiated in this invention to two or more inspected parts 3 on the front face of the inspected concrete 1, or two or more inspected parts 3 to which the depth from a front face differs, the plasma 7 is generated and at least each part measures the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 in 3, it is also possible to inspect concrete 1. For example, carbonation of concrete takes place to the front face which touches air first, and it is known that a carbonation field will advance inside with the passage of time. For example, a laser beam 6 is irradiated shaving off the front face of concrete 1 by predetermined thickness, and the carbonation depth of concrete can be inspected by measuring the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 in each shaving picking phase, and inspecting carbonation. Similarly, inspection in the depth direction is [whenever / effect / of the salt damage of concrete 1 /, or, whenever / effect / of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination] possible also about the corrosion by the acid, and the corrosion of reinforcement.

[0031] Moreover, this invention person found out that inspection of the part where the depth directions of concrete 1 differ in coincidence was possible, punching of concrete 1 being possible and punching concrete by the laser beam 6 by the continuous exposure to the same part of a laser beam 6. That is, in this invention, since the matter near the front face of concrete 1 does melting and the evaporation of by the exposure of a laser beam 6, a new front face is formed in an exposure part. By irradiating a laser beam 6 continuously on the new front face, the matter of a new front face can be made to be able to dissolve and evaporate, and the hole of the depth direction of concrete 1 can be dug to an exposure part. Moreover, the spectral intensity distribution 10 of luminescence of the plasma 7 in this punching process can be measured continuously. For example, it is expectable to inspect the depth of the carbonation depth of concrete 1 or the potential alkali reactivity of cement aggregate combination, the depth of degradation by the acid, etc., irradiating a laser beam 6 continuously to the same part of concrete 1. Moreover, since the dirt on the front face of concrete is removable by irradiating the pulse laser light 6 several times, the effectiveness of raising the precision of inspection is also expectable.

[0032] In the example of drawing 1, efficient inspection of two or more parts on concrete 1 is enabled by forming the exposure sense control unit 17 which controls the exposure sense of a laser beam 6, and the collimation sense control unit 18 which follows the exposure sense of a laser beam 6 and controls the collimation sense of a spectrophotometer 8 or its beam condensing unit, and changing the collimation sense of the exposure sense of a laser beam 6, a spectrophotometer 8, or a beam condensing unit. If this invention can generate the plasma 7 by the exposure of a laser beam 6, it will be satisfactory even if the incident angle of the laser beam 6 to concrete 1 changes.

[0033] Moreover, drawing 4 carries the test equipment 20 shown in drawing 1 in the mobiles 30, such as a truck, and shows the example inspected while a mobile 30 moves the structure of the concrete 1 prolonged along a path 37. This drawing shows the case where the concrete wall of tunnel 36 is inspected. In this case, with the exposure sense control unit 17 and the collimation sense control unit 18, while changing the exposure sense of a laser beam 6 on the flat surface 31 which intersects the travelling direction of a mobile 30, the exposure sense is followed and the collimation sense of a spectrophotometer 8 or a beam condensing unit is changed. By this control, two or more inspected part 3i on the intersection 32 on a flat surface 31 and the front face of concrete can be inspected efficiently.

[0034] The whole region of the concrete 1 prolonged along a path 37 can be efficiently inspected by repeating collimation sense control of the exposure sense control, the spectrophotometer 8, or beam condensing unit of a laser beam 6 mentioned above according to advance of a mobile 30, and repeating inspection on two or more intersections 32 separated to the travelling direction. According to the example of drawing 4, it is possible to conduct inspection required for the maintenance of a tunnel concrete wall in the limited time amount, such as night, for a short time, it compares with the conventional approach, and large simplification of inspection, laborsaving, and speeding up can be attained.

[0035] As mentioned above, although the application of this invention to inspection of the soundness of concrete 1 was explained, it is also expectable to apply the test equipment 20 of drawing 1 to other applications other than soundness inspection, for example, inspection of activation of concrete 1. For example, with the decommissioning measure (decommissioning of reactor) of a nuclear power plant, since the processing costs of concrete or piping change greatly with degrees of activation, it becomes important to measure how many concrete which carried out dismantling crushing are activated. Conventionally, the activation situation of concrete was presumed in advance by the simulation etc., or the concrete core etc. was extracted from the site, and the activation situation was separately checked with metering devices, such as a Geiger counter, and even the depth which becomes settled according to the activation situation was put together from the front face, and it has dissolved. However, measurement of activation not only takes time and

-effort, but by this approach, irrespective of an actual degree of contamination, it must perform dismantling processing of the same depth to all concrete wall sides, and there is a trouble with it difficult [to perform an efficient demolition according to extent of activation].

[0036] Drawing 5 shows the example which applied this invention to the decommissioning measure of a nuclear power plant. The test equipment 20 of this drawing is attached in the remote-operation robot 34 for concrete 1 dismantling, and activation of concrete 1 is inspected by carrying out the mutual comparison of the reinforcement of a radioisotope component and the reinforcement of a nonradioactive isotope component under spectral intensity distribution 10 of plasma luminescence at the time of the laser beam exposure of concrete 1. When there is an element which includes radioisotope and a nonradioactive isotope in concrete, it is thought that the rate of radioisotope and a nonradioactive isotope changes according to activation of concrete. For example, if the spectral intensity ratio of the radioisotope according to advance of activation and a nonradioactive isotope is memorized, based on the spectral intensity distribution 10 of the concrete 1 of drawing 1 $R > 1$, it is expectable to inspect activation of concrete 1 with analysis-of-a-spectrum equipment 12.

[0037] In the example of drawing 5, a laser beam 6 is irradiated shaving off the front face of concrete 1 by predetermined thickness by a robot's 34 arm 35, the spectral intensity distribution 10 of plasma luminescence in each shaving picking phase is measured, and activation is inspected. Since according to this example concrete 1 can be disassembled and the demolition of concrete can be done according to extent of activation until activation becomes below predetermined level, the efficient dismantling processing which suited the actual condition is expectable.

[0038]

[Effect of the Invention] As explained above, since the concrete inspection approach and equipment of this invention irradiate a laser beam at concrete, generate the plasma by ablation and inspect concrete according to spectral intensity distribution of luminescence of the plasma, they do the following remarkable effectiveness so.

[0039] (b) Since the soundness of concrete can be inspected by non-contact, it is not necessary to install a scaffold etc., and compares with the conventional approach, and large laborsaving of inspection and increase in efficiency can be attained.

(b) It is not necessary to inspect [whenever / effect / of the potential alkali reactivity of cement aggregate combination] the corrosion rate of degradation by the acid, and reinforcement etc. from independent spectral intensity distribution whenever [carbonation / of concrete /, and effect / of salt damage], to receive at least the Banking Inspection Department, and to investigate multiple times.

(c) Since two or more parts of a concrete wall can be inspected changing the exposure sense of laser equipment, a large concrete side etc. can be inspected easily in a short time.

(d) Since it can inspect moving, the concrete wall of the tunnel under employment etc. can also be inspected easily in a short time.

(e) Inspection of activation of concrete can also be expected and application to efficient dismantling processing of a nuclear power plant etc. can be expected.

[Translation done.]